# II Международная олимпиада по экспериментальной физике
# Задания и решения

МЦНМО

# II Международная олимпиада по экспериментальной физике

## Задания и решения

*Под редакцией*
*А. А. Якуты*

Электронное издание

Москва
Издательство МЦНМО
2016

УДК 53(023)
ББК 22.3Я721+74.262.22
М43

II Международная олимпиада по экспериментальной физике. Задания и решения / Под ред. А. А. Якуты.
Электронное издание.
М.: МЦНМО, 2016.
119 с.
ISBN 978-5-4439-3008-4

Книга содержит задания и возможные решения II Международной олимпиады по экспериментальной физике, проходившей с 27 ноября по 7 декабря 2014 года на базе ГБОУ Детский оздоровительно-образовательный центр «Команда». Олимпиада проводилась для учеников 8–11-х классов, включала в себя три тура, на каждом из которых школьники должны были решить одну или две экспериментальные задачи.

Для учащихся старших классов, готовящихся к участию в экспериментальных турах олимпиад школьников по физике, школьных учителей, руководителей физических кружков и факультативов.

Авторы задач и текстов решений:

8 класс: Слободянюк А. И. (1, 2, 4, 5, 6), Воробьёв И. И. (3)

9 класс: Слободянюк А. И. (1, 4, 6), Варламов С. Д. (2), Черников Ю. А. (3), Баринов А. Д. (5)

10 класс: Баринов А. Д. (1, 3, 5), Черников Ю. А. (2, 5), Слободянюк А. И. (4), Иванов И. (6)

11 класс: Слободянюк А. И. (1), Варламов С. Д. (2, 4), Баринов А. Д. (3, 5), Черников Ю. А. (3)

Официальный сайт олимпиады: www.iepho.com

Подготовлено на основе книги: II Международная олимпиада по экспериментальной физике. Задания и решения / Под ред. А. А. Якуты. — М.: МЦНМО, 2015. — 120 с. ISBN 978-5-4439-1008-6.

Издательство Московского центра
непрерывного математического образования
119002, Москва, Большой Власьевский пер., 11
тел. (499) 241–08–04
http://www.mccme.ru

ISBN 978-5-4439-3008-4
© МЦНМО, 2016

# Оглавление


**8 класс**

1. Чувствительные весы . . . . . 4
2. Преломление света . . . . . 9
3. Долгопериодный маятник . . . . . 15
4. Невидимый стержень . . . . . 19
5. Гидроатмосферный подъёмник . . . . . 23
6. Открой закон Ома! . . . . . 27

**9 класс**

1. Хроматография . . . . . 35
2. Коэффициент теплового расширения . . . . . 43
3. Весомая пружина . . . . . 46
4. «Чёрный ящик» . . . . . 51
5. Элемент Пельтье . . . . . 55
6. Сколько весит вода в перевёрнутом стакане? . . . . . 58

**10 класс**

1. Исследование отражения на границе материалов . . . . . 63
2. Деформация кручения . . . . . 66
3. Оптический серый ящик . . . . . 72
4. Плавление льда . . . . . 75
5. Солнечная батарея . . . . . 79
6. Магнитный поезд . . . . . 84

**11 класс**

1. Резиновый маятник . . . . . 89
2. Неоновая лампа . . . . . 95
3. Исследование поглощения растворов . . . . . 98
4. Чёрная дыра . . . . . 108
5. Серый ящик с переменным током . . . . . 112

# 8 КЛАСС

## ЭКСПЕРИМЕНТ 1

## *Чувствительные весы*

### Приборы и материалы

Штатив с лапкой и держателем, ластик, две спицы длиной 35 см, иголка швейная, 2 линейки 50 см, кусок пластилина, 10 канцелярских скрепок, нитки, кусочек бумаги.

Масса одной скрепки $m_0 = 0{,}56$ г.

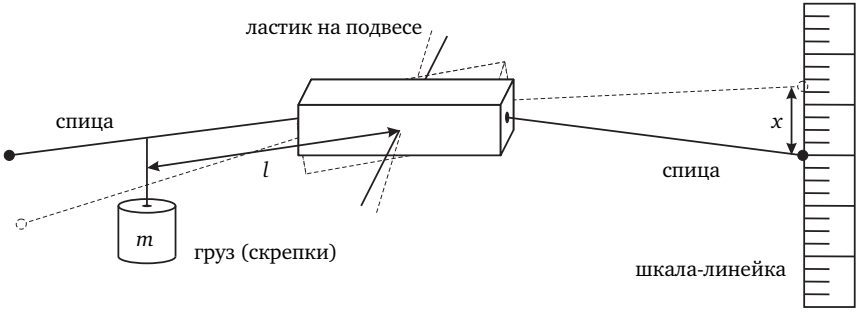


**Рис. 8.1.1.** Воткните две спицы симметрично в ластик так, чтобы они держались в нём прочно, — это коромысло ваших весов. В лапке штатива зажмите проволочный подвес. Поставьте на него ластик со спицами, используя в качестве оси длинную иголку. Убедитесь, что весы устойчиво (с колебаниями) удерживаются на подвесе. На спицы вы можете подвешивать нужные вам предметы. Измерительную линейку следует располагать на столе с помощью пластилина (можно и под небольшим углом к вертикали)

### Задание

Теория весов не так проста и очевидна, как кажется на первый взгляд! Конечно, основой являются правила рычага, сформулированные ещё Архимедом, но и в конце XIX века Д. И. Менделеев строил теорию рычажных весов. Вам также предстоит разработать свою собственную теорию и проверить её на практике.

Основа вашей работы — самодельные весы, которые вам предстоит разработать самостоятельно.

Показания весов — это смещение конца спицы на шкале $x$ (измеряйте эту величину в мм). Подвешивайте грузы (скрепки) с помощью нити, положение нити определяется расстоянием $l$ (в мм) **от оси до точки подвеса**.

Разумно предположить, что смещение конца спицы описывается формулой

$$x = Cml, \tag{8.1.1}$$

где $m$ — масса подвешенного груза, $C$ — постоянный коэффициент.

### Часть 1. Градуировка и чувствительность

В этой части работы вам необходимо экспериментально проверить применимость формулы (8.1.1) и определить коэффициент пропорциональности $C$.

1.1. Укажите размерность коэффициента $C$.

1.2. Прикрепите нить на расстоянии $l$, примерно равном 20–30 мм. Измерьте это расстояние и укажите его. Подвешивайте к нити скрепки. Измерьте зависимость отклонения спицы $x$ от числа подвешенных скрепок $n$. Постройте график полученной зависимости.

1.3. Используя данные, полученные в п. 1.2, рассчитайте численное значение коэффициента $C$.

1.4. Измерьте зависимость смещения спицы $x$ от положения точки подвеса $l$. Измерения проведите для одной и двух скрепок. Постройте графики полученных зависимостей.

1.5. Используя данные, полученные в п. 1.4, рассчитайте численное значение коэффициента $C$ для обеих зависимостей.

1.6. Сделайте вывод о применимости формулы (8.1.1) для ваших весов.

### Часть 2. Бумага

2.1. Измерьте массу выданного вам кусочка бумаги. Укажите параметры, при которых Вы проводили измерения.

2.2. Рассчитайте массу 1 м$^2$ такой бумаги. Оцените погрешность найденной величины.

## Решение

### Часть 1. Градуировка и чувствительность

1.1. Коэффициент $C$ имеет размерность [г$^{-1}$].

1.2. Результаты измерений зависимости отклонения спицы $x$ от числа подвешенных скрепок $n$ приведены в табл. 8.1.1. График зависимости показан на рис. 8.1.2. Измерения проведены при $l = 30$ мм.

**Таблица 8.1.1**

Зависимость смещения от числа скрепок

| $n$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $x$, мм | 7 | 15 | 23 | 31 | 39 | 46 | 53 | 61 | 67 | 74 |

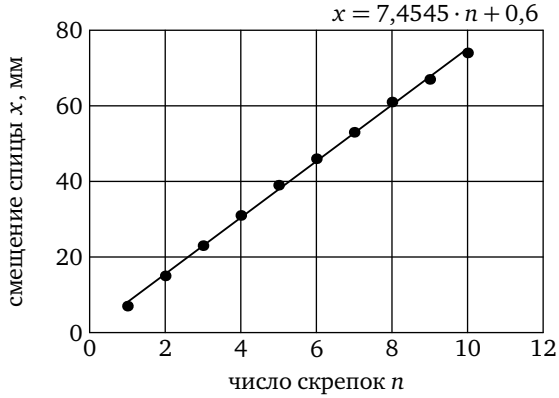


**Рис. 8.1.2.** Зависимость смещения от числа скрепок

1.3. Полученный график описывается прямой пропорциональной зависимостью $x = a_1 n$, где $a_1 = 7{,}5\ \frac{\text{мм}}{\text{скрепка}}$. Сравнивая с анализируемой зависимостью

$$x = Cml = Cm_0 l \cdot n,$$

находим значение коэффициента:

$$C = \frac{a_1}{m_0 l} = \frac{7{,}5}{0{,}56 \cdot 30} \approx 0{,}45 \text{ г}. \qquad (8.1.2)$$

1.4. Результаты измерений зависимости смещения спицы $x$ от положения точки подвеса $l$ для одной и двух скрепок приведены в табл. 2. Графики полученных зависимостей показаны на рис. 8.1.3.

1.5. В данном случае зависимости для одной и двух скрепок имеют вид

$$x_{(1)} = Cm_0 l, \quad x_{(2)} = 2Cm_0 l. \qquad (8.1.3)$$

Коэффициенты наклона прямых (найденные по графикам) равны

$$a_{(1)} = 0{,}24, \quad a_{(2)} = 0{,}40.$$

Следовательно, значения коэффициента $C$, найденные из этих графиков, равны

$$C_{(1)} = \frac{0{,}24}{0{,}56} \approx 0{,}43 \text{ г}, \quad C_{(2)} = \frac{0{,}40}{0{,}56 \cdot 2} \approx 0{,}35 \text{ г}. \qquad (8.1.4)$$

**Таблица 8.1.2**

| Одна скрепка | | Две скрепки | |
|---|---|---|---|
| $L$, мм | $X$, мм | $L$, мм | $X$, мм |
| 35 | 7 | 34 | 17 |
| 45 | 10 | 52 | 26 |
| 57 | 12 | 71 | 35 |
| 66 | 16 | 88 | 43 |
| 83 | 18 | 105 | 51 |
| 105 | 25 | 121 | 57 |
| 124 | 30 | 140 | 65 |
| 147 | 35 | 163 | 74 |
| 173 | 41 | 184 | 83 |
| 198 | 46 | 208 | 91 |
| 220 | 51 | 231 | 100 |
| 241 | 55 | 251 | 108 |
| 259 | 60 | 276 | 117 |
| 282 | 65 | 296 | 124 |
| 306 | 71 | 315 | 133 |
| 327 | 75 | 344 | 148 |

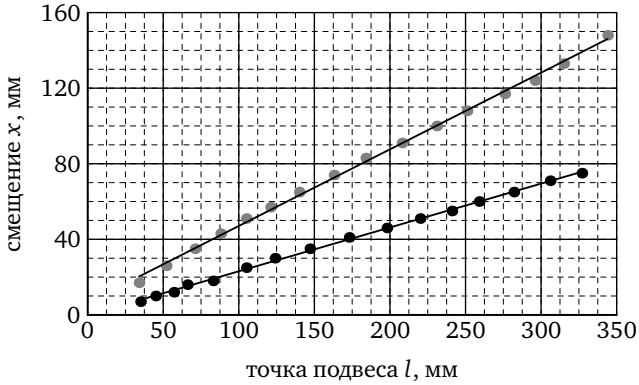


**Рис. 8.1.3.** Зависимость смещения от положения точки подвеса

1.6. Как следует из полученных данных, приведённая в условии формула применима при небольших смещениях, так как при больших смещениях коэффициент пропорциональности изменяется.

## Часть 2. Бумага

2.1. Кусочек бумаги располагаем на конце спицы и измеряем смещение: если $l=345$ мм, то $x=(7\pm1)$ мм. Для расчёта массы используем приведённую в условии формулу (с коэффициентом $C=(0{,}44\pm0{,}01)$ г), из которой определяем

$$m = \frac{x}{Cl} = \frac{7}{0{,}44\cdot 345} \approx 0{,}046 \text{ г.} \qquad (8.1.5)$$

2.2. Площадь выданного кусочка бумаги равна 5 см, поэтому масса 1 м = 10 см равна

$$\mu = 0{,}046\cdot\frac{10}{5} \approx 90 \text{ г/м}$$

с погрешностью порядка 15 % (основная погрешность определения смещения спицы).

# ЭКСПЕРИМЕНТ 2
# *Преломление света*

## Приборы и материалы

Лазер с блоком питания, стеклянная чашка Петри, вода, разграфлённый лист бумаги (с угломерной шкалой), линейка, пластилин (для крепления лазера).

## Задание

*В данной работе не требуется оценивать погрешности*!

Если луч света проходит через границу двух сред, то он преломляется. Это явление вам знакомо, оно лежит в основе работы линз. Однако закон преломления света не совсем прост. Если закон отражения был известен уже древним грекам в V веке до н. э., то закон преломления был открыт 2000 лет спустя. Этот закон устанавливает связь между углом падения $\alpha$ и углом преломления $\beta$. Напоминаем, что в оптике углы отсчитываются от перпендикуляра (нормали) к поверхности в точке падения луча (рис. 8.2.1).

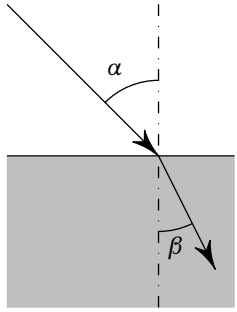


**Рис. 8.2.1**

В данной работе вам необходимо исследовать количественно это явление, получить приближённый закон преломления света, а также изучить условия, при которых круговой цилиндр может считаться тонкой линзой.

### Часть 1. Прохождение света через «линзу»

1.1. *Теоретическая задача*. Пусть луч света падает на тонкую линзу с центром $O$ с фокусным расстоянием $F$ параллельно его главной оптической оси на расстоянии $x$ от главной оптической оси (рис. 8.2.2). На расстоянии $L$ ($L > F$) от линзы находится экран, плоскость которого параллельна плоскости линзы. Постройте ход луча после преломления в линзе, укажите точку падения луча на экран. Получите формулу, определяющую координату $x_1$ точки падения луча на экран.

1.2. *Измерения*. Расположите лазер так, чтобы его луч шёл параллельно столу на небольшом расстоянии от его поверхности и мог

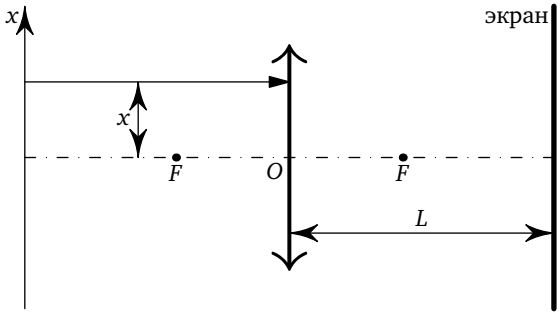


**Рис. 8.2.2**

проходить через боковые стенки чашки Петри. Не забудьте заполнить её водой полностью. Чашку Петри расположите в центре угломерной шкалы.

Будем считать, что чашка является тонкой линзой, плоскость которой проходит через центр чашки. Экран расположите за линзой так, чтобы луч, прошедший через чашку, попадал на него (как показано на рис. 8.2.2). Проведите измерения зависимости координаты $x_1$ точки падения луча на экран от расстояния $x$.

*Расстояние L выберите самостоятельно. Не забудьте указать его в своей работе. При измерениях следите, чтобы при смещении лазера направление его луча не изменялось. Используйте разграфлённый лист для точного направления луча.*

Постройте график полученной зависимости. Укажите диапазон значений координаты $x$, при которых полученная вами в теоретической задаче формула является справедливой. Найдите фокусное расстояние линзы в этом диапазоне.

### Часть 2. Закон преломления света

Добавьте в чашку Петри маленькую каплю молока так, чтобы вода слегка помутнела. В этом случае луч в чашке станет видимым сверху.

Расположите чашку Петри и направляйте луч лазера так, чтобы по угломерной шкале можно было измерять углы $\angle COA = \varphi$ и $\angle COB = \gamma$ ($AB$ — видимый в чашке луч).

*Используйте разграфлённый лист для точного направления луча.*

2.1. Укажите, какой из углов, показанных на рис. 8.2.3, является углом падения $\alpha$, а какой углом преломления $\beta$.

Запишите формулу, позволяющую по измеренным углам $\varphi$ и $\gamma$ рассчитать угол преломления $\beta$.

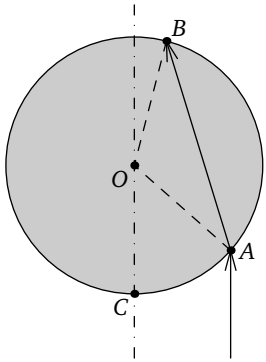


**Рис. 8.2.3**

2.2. Смещая луч лазера (но не меняя его направления), измерьте зависимость угла преломления от угла падения $\beta(\alpha)$. Постройте график полученной зависимости.

2.3. Укажите, при каких углах падения $\alpha$ угол преломления $\beta$ оказывается прямо пропорциональным углу падения $\alpha$. Для этого диапазона найдите отношение $\alpha/\beta$, которое называется показателем преломления воды.

## Решение

### Часть 1. Прохождение света через «линзу»

1.1. *Теоретическая задача*. На рис. 8.2.4 показан ход луча после преломления в тонкой линзе. Из подобия треугольников следует соотношение между координатой точки падения луча и координатой луча на экране:

$$-\frac{x_1}{L-F} = \frac{x}{F}. \qquad (8.2.1)$$

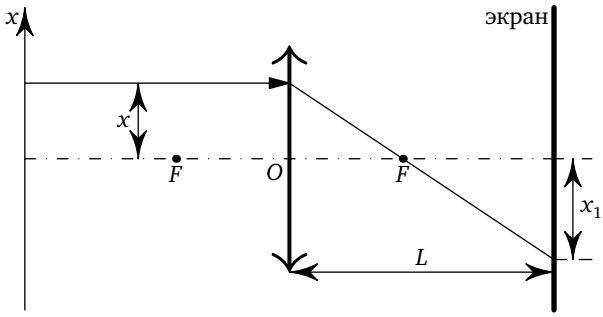


**Рис. 8.2.4**

Из этого соотношения следует искомая зависимость:

$$x_1 = -\frac{L-F}{F}x. \qquad (8.2.2)$$

1.2. *Измерения*. Результаты измерений зависимости координаты светового пятна на экране $x_1$ от координаты точки падения луча

**Таблица 8.2.1**

| $x$, см | $x_1$, см | $x$, см | $x_1$, см |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,5 | −0,3 | −0,5 | 0,4 |
| 1,0 | −0,9 | −1,0 | 0,8 |
| 1,5 | −1,4 | −1,5 | 1,3 |
| 2,0 | −1,9 | −2,0 | 1,6 |
| 2,4 | −2,5 | −2,4 | 2,3 |
| 2,9 | −3,1 | −2,9 | 2,9 |
| 3,3 | −3,7 | −3,3 | 3,7 |
| 3,7 | −4,6 | −3,7 | 4,6 |
| 4,1 | −5,7 | −4,1 | 5,6 |
| 4,4 | −7,2 | −4,4 | 7,2 |

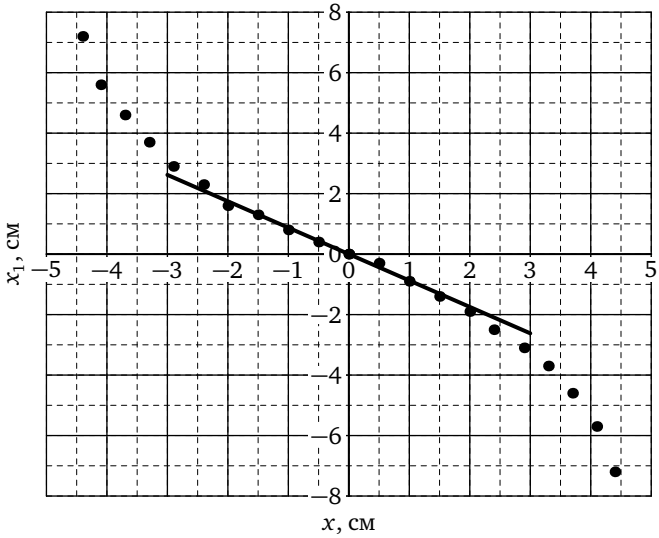


**Рис. 8.2.5.** Зависимость координаты пятна $x_1$ от координаты луча $x$

на «линзу» приведены в табл. 8.2.1. На рис. 8.2.5 показан график полученной зависимости. Измерения проведены при $L = 13{,}5$ см.

Полученная зависимость не является линейной, как предсказывает формула (8.2.2). Однако в диапазоне $x = \pm 2$ см её можно считать линейной. По графику находим коэффициент наклона $k \approx -0{,}87$ этой прямой. Из формулы (8.2.2) следует, что

$$|k| = \frac{L-F}{F} \;\Rightarrow\; F = \frac{L}{|k|+1} \approx 7{,}2 \text{ см}. \qquad (8.2.3)$$

## Часть 2. Закон преломления света

2.1. Очевидно, что углом падения является угол $\alpha = \angle COA = \varphi$, а углом преломления $\angle OAB$ (рис. 8.2.3).

Так как треугольник $OAB$ является равнобедренным, угол преломления может быть рассчитан по формуле

$$\beta = \frac{180^\circ - (\gamma - \alpha)}{2}. \qquad (8.2.4)$$

**Таблица 8.2.2**

| $\alpha^\circ$ | $\gamma^\circ$ | $\beta^\circ$ | $\alpha^\circ$ | $\gamma^\circ$ | $\beta^\circ$ | $\alpha^\circ$ | $\gamma^\circ$ | $\beta^\circ$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 180 | 0 | 25 | 168 | 18,5 | 50 | 165 | 32,5 |
| 5 | 180 | 2,5 | 30 | 165 | 22,5 | 55 | 160 | 37,5 |
| 10 | 175 | 7,5 | 35 | 160 | 27,5 | 60 | 158 | 41,0 |
| 15 | 177 | 9,0 | 40 | 163 | 28,5 | 65 | 150 | 47,5 |
| 20 | 173 | 13,5 | 45 | 163 | 31,0 | 70 | 155 | 47,5 |

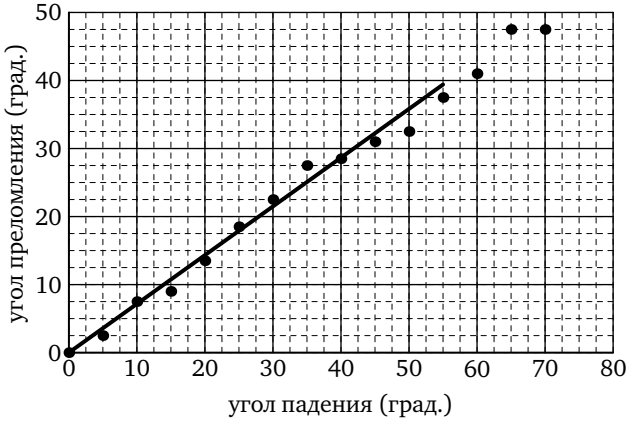


**Рис. 8.2.6.** Зависимость угла преломления от угла падения